

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

УДК 556.535.3

На правах рукописи

Малышева Наталья Геннадьевна

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Специальность 25.00.27 –
гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2013

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом Университете (РГГМУ)

Научный руководитель:

доктор географических наук,
профессор

Владимиров Анатолий Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор географических наук,
профессор

Барышников Николай Борисович

кандидат географических наук,
начальник отдела
гидрометеорологии
Управления охраны окружающей
среды ООО «Нефтегазгеодезия»

Комаринский Дмитрий Валентинович

Ведущая организация:

Государственный гидрологический
институт

Защита состоится «20» июня 2013 г. в 15 час 30 мин на заседании
Диссертационного совета Д 212.197.02 в Российском государственном
гидрометеорологическом университете по адресу:
195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98, актовъ зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «20» мая 2013 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
канд. геогр. наук

В.Н. Воробьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы:

Меженный сток является одним из важнейших индикаторов изменений водного режима реки, вызываемых антропогенным воздействием и колебаниями климата, а его количественные характеристики ключевыми в системе государственного мониторинга окружающей среды.

Данные о меженном стоке и минимальном стоке, как правило, наименьшем за 30-суточный период, используются в разработке проектов водоснабжения: питьевого, хозяйственно-бытового и промышленного. Характеристики меженного и минимального стока необходимы при проектировании атомных, тепловых и гидроэлектростанций, в горнодобывающей промышленности. Данные о минимальных расходах воды используются при решении вопросов, связанных с охраной вод от загрязнения при разработке экологических паспортов предприятий и оценке экологических ущербов.

В промышленно развитых районах, таких, как Северо-Западный регион РФ, сброс сточных вод в реки в меженный период может приводить к загрязнению реки в результате накопления загрязняющих веществ в русле даже в том случае, если сбрасываются очищенные технические воды.

Характеристики минимального стока играют определяющую роль при разработке мер по рациональному использованию и охране водных ресурсов. Они лимитируют водопотребление и водопользование, влияя на существование биоценозов экосистем. Таким образом, они являются лимитирующими для человеческого общества, а иногда и катастрофическими – в периоды длительных засух. Поэтому данные о минимальном стоке относятся к разряду основных гидрологических характеристик.

Актуальность диссертационной работы также обусловлена введением в действие свода правил по определению основных расчетных гидрологических характеристик (СП 33-101-2003), предполагающего создание территориальных строительных норм (ТСН), которыми должны учитываться регио-

нальные особенности гидрологического режима и соответствующие методы определения расчетных характеристик.

Наряду с ТСН предполагается подготовка научно-прикладных территориальных Справочников с использованием гидрологических рядов, включающих данные последних лет наблюдений, необходимых для Госстроя РФ и других крупных и мелких организаций, требующих данных о минимальных расходах воды. При решении этих задач необходима систематизация региональных данных о минимальном стоке.

Цель и задачи диссертационного исследования:

Целью работы являлась разработка региональных методик для расчета минимального стока малых рек с обоснованием набора предикторов и структуры расчетных формул; построение современных карт минимальных летне-осенних и зимних модулей стока 80 %-ой обеспеченности для исследуемой территории; выполнение двухуровневого районирования территории Северо-Запада ЕТР по условиям формирования минимального стока с использованием спектрального и кластерного анализа.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- сбор и обобщение информации о минимальном стоке зимней и летне-осенней межени рек Северо-Запада ЕТР за период с начала наблюдений по 2011 г., включая выборки наименьших за сутки и за 30 суток расходов воды;
- сбор и обобщение информации о температуре воздуха и осадках за период с начала наблюдений по 2010-2011 гг.;
- первичный анализ информации и оценка трендов в рядах гидрометеорологических характеристик;
- статистический анализ исходной информации, включающий проверку рядов минимального стока на соответствие модели случайной величины, на однородность, оценку параметров распределения;

- обоснование выбора расчетной аналитической кривой, расчет минимальных расходов воды периодов летне-осенней и зимней межени 80 %-ой вероятности ежегодного превышения;
- районирование Северо-Запада ЕТР по условиям формирования зимнего и летне-осеннего стока;
- усовершенствование формулы СП 33-101-2003 и разработка новых формул для расчета минимального стока малых рек при отсутствии наблюдений для каждого гидрологически однородного района;
- построение новых карт изолиний 80 %- го модуля минимального стока летне-осенней и зимней межени для Северо-Запада ЕТР;
- расчет районных переходных коэффициентов от 30-суточных значений к суточным и от 80 %-ой обеспеченности к другим обеспеченностям;
- параметризация формулы расчета минимального стока озерных рек.

Материалы и методы:

В диссертационной работе использованы данные о суточных и 30-суточных минимальных расходах воды зимней и летне-осенней межени на реках Северо-Запада ЕТР за период с 30-40-х годов по 2011 г. по 107 пунктам стационарной сети наблюдений. При оценке климатической составляющей в формировании минимального стока использовались данные о среднемесячных значениях температуры воздуха и суммарных по месяцам осадках за период с начала наблюдений по 2010-2011 гг. по десяти метеостанциям исследуемого региона.

При подготовке отдельных глав диссертационной работы использовались методы гидролого-географического и гидролого-гидрогеологического анализов, а также статистического анализа гидрометеорологической информации, методы гидрологического районирования, включая метод сходства очертаний выборочных спектров и метод кластерного анализа.

Графические расчеты и построения производились с помощью ГИС «MapInfo Professional». Спектральный и кластерный анализ осуществлялись в пакете статистического анализа «STATISTICA».

Научная новизна работы:

- Разработана новая методика расчета минимального стока малых рек СЗ ЕТР при отсутствии наблюдений.
- Построены новые карты изолиний модулей стока 80 %-ой обеспеченности летне-осенней и зимней межени для определения минимального стока средних рек СЗ ЕТС.
- Применены новые методы спектрального и кластерного анализа, позволившие избежать субъективизма при гидрологическом районировании территории.

На защиту выносятся:

- набор методик для расчета минимального стока малых рек СЗ ЕТР при отсутствии наблюдений с обоснованием набора предикторов и структуры расчетных формул;
- формула расчета минимального стока озерных рек с уточненными параметрами;
- карты модулей минимального стока 80 %-ой обеспеченности летне-осенней и зимней межени для средних рек СЗ ЕТР;
- районирование территории по условиям формирования минимального стока с использованием методов корреляционного, спектрального и кластерного анализа;
- обоснование способов аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей в условиях неоднородных выборок для исследуемой территории;
- оценка влияния климатических и антропогенных факторов на минимальный сток рек Северо-Западного региона РФ, а также при расчетах минимального стока рек в целях оценки водных ресурсов в наиболее напряжен-

ный по водности период года, при расчетах водоснабжения и водопользования.

Практическая значимость работы:

Практическая значимость проведенных в диссертационной работе исследований заключается в разработанной методике оценки минимального стока рек промышленно развитого региона, существующего в современных климатических условиях. Методика позволяет рассчитать минимальный сток малых и средних рек с достаточной для практики точностью и может быть включена в нормативный документ Госстроя России в форме раздела ТСН или подобного документа, а также при подготовке изданий по Водному Кадастру России.

Апробация работы:

Работа в целом была представлена и обсуждена на научном семинаре кафедры гидрологии суши РГГМУ (2012). Промежуточные итоги исследований представлялись в устных докладах с последующими публикациями на итоговых сессиях Ученого совета РГГМУ (2009, 2010, 2012).

Результаты исследований докладывались на Международной научно-практической конференции «Мониторинг окружающей среды» (Брест, 2009).

Личный вклад автора:

Личный вклад автора включает формулировку цели и постановку задач работы, сбор и анализ данных наблюдений, выполнение расчетов, интерпретация полученных результатов, подготовку результатов исследований для использования в практике инженерных расчетов.

Публикации:

По теме диссертации опубликовано 7 статей, две из которых в научно-теоретическом журнале по перечню ВАК «Ученые записки РГГМУ» (Малышева Н.Г. № 21, 2011; Владимиров А.М., Малышева Н.Г. № 24, 2012) и Ме-

тодические указания по дисциплине «Методы статистической обработки гидрометеорологической информации» (в соавторстве, 2003)

Структура работы:

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованных источников, включающих 102 наименования, из которых 5 на иностранных языках и четырех приложений. Текст изложен на 150 страницах и включает 20 таблиц и 60 рисунков. Приложения занимают 40 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлена цель и определены задачи работы. Обозначена область практического применения результатов исследований.

В **ГЛАВЕ 1** рассмотрены существующие методы расчета минимального стока, особое внимание уделяется нормативным документам по расчету основных гидрологических характеристик, в том числе последнему документу Госстроя РФ – СП 33-101-2003, а также публикациям последних лет, посвященным методам расчета стока в условиях неустановившегося климата, приводящего к не стационарности рядов гидрологических характеристик.

В **ГЛАВЕ 2** дана оценка гидрологических характеристик рядов минимального стока зимней и летне-осенней межени Северо-Западного региона РФ; обозначен район исследований и объем исходной гидрометеорологической информации; исследованы линейные тренды в рядах минимального стока рек СЗ ЕТР.

Анализ трендов позволяет утверждать, что на реках исследуемой территории в период летне-осенней межени не произошло сколько-нибудь значительных изменений, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения стока воды. Ряды минимального стока летне-осенней межени рек СЗ ЕТР следует признать стационарными (однородными во времени).

В зимний период на всей территории наблюдается увеличение стока.

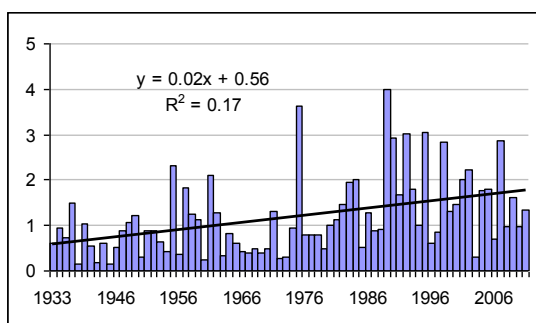
Значимость трендов оценивалась по соотношению коэффициента корреляции R для зависимости $Q_{min} = f(T)$ и его среднеквадратической погрешности σ_R , рассчитанной по формуле (1) при уровне значимости $2\alpha = 5\%$:

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (1)$$

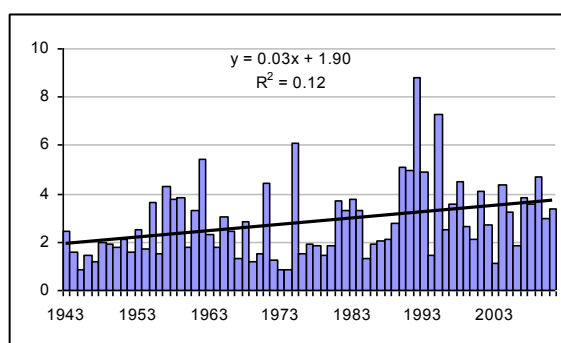
где R - коэффициент корреляции
 n - число членов ряда

При соотношении $R/\sigma_R \geq 2$ тренд признавался значимым.

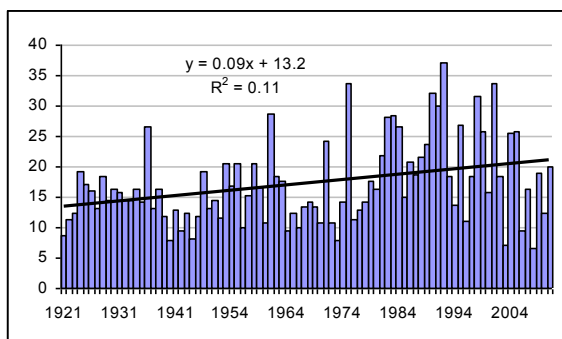
Статистически значимые линейные тренды в рядах минимального стока зимней межени, показанные на рисунке 1 и в таблице 1, в которой приводятся результаты оценки трендов, свидетельствуют о том, что ряды не стационарны.



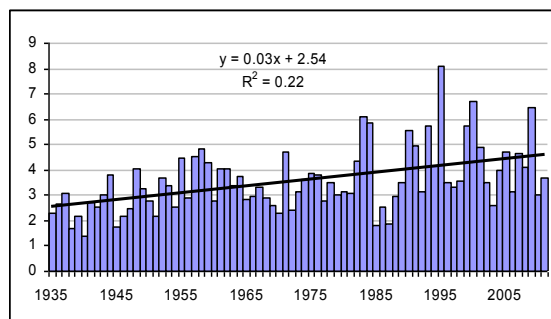
р. Мга – д. Горы



р. Пчевжа – д. Белая



р. Луга – ст. Толмачево



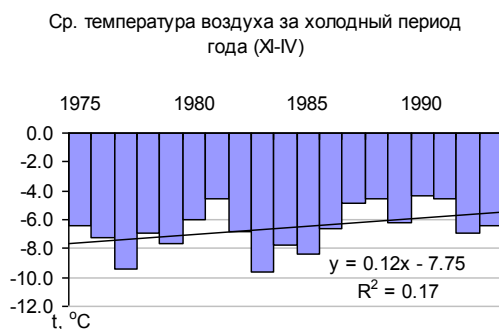
р. Паша – с. Поречье

Рисунок 1 – Минимальные 30-суточные расходы воды зимней межени

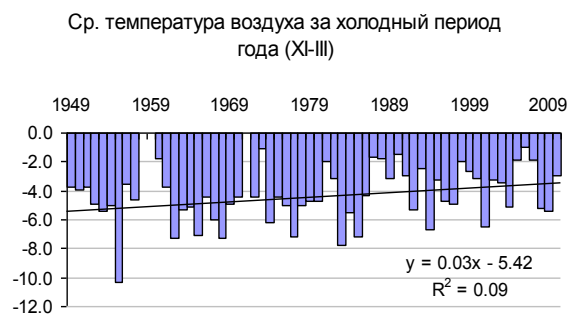
Таблица 1 – Оценка линейных трендов рядов минимального стока

Река-пункт	Зимняя межень			Летне-осенняя межень		
	R	σ_R	R/σ_R	R	σ_R	R/σ_R
р. Понча – пос. Пяозерский	0,64	0,12	>2	0,02	0,20	<2
р. Корпи-йоки – пос. Пяоз-кий	0,48	0,15	>2	0,03	0,20	<2
р. Така – пос. Кистеньга	0,45	0,16	>2	0,13	0,19	<2
р. Гороховка – с. Токарево	0,37	0,12	>2	0,07	0,14	<2
р.Сестра – пос. Белоостров	0,50	0,11	>2	0,24	0,13	<2
р. Мга – д. Горы	0,41	0,09	>2	0,04	0,13	<2
р. Луга – ст. Толмачево	0,33	0,09	>2	0,25	0,13	<2
р. Оять – д. Мининская	0,30	0,13	>2	0,04	0,14	<2
р. Паша – с. Поречье	0,50	0,09	>2	0,06	0,15	<2
р. Капша – д. Еремина Гора	0,44	0,12	>2	0,13	0,14	<2
р. Сясь – д. Яхново	0,36	0,12	>2	0,24	0,15	<2
р. Тигода – ст. Любань	0,28	0,12	>2	0,02	0,13	<2
р. Равань – д. Бабино	0,35	0,13	>2	0,05	0,15	<2
р. Шарья - д. Гремячево	0,30	0,13	>2	0,09	0,13	<2
р. Пчевжа – д. Белая	0,35	0,11	>2	0,14	0,13	<2
р. Мста – д. Девкино	0,42	0,10	>2	0,13	0,12	<2
р. Ловать – г. Великие Луки	0,24	0,13	>2	0,18	0,13	<2
р. Шелонь – д. Заполье	0,41	0,11	>2	0,25	0,13	<2
р. Шелонь – г. Порхов	0,39	0,13	>2	0,18	0,15	<2

Как показал анализ, значимые тренды в рядах минимального зимнего стока на территории Северо-Запада ЕТР связаны с наличием трендов в рядах климатических характеристик. В частности, в рядах среднемесячной зимней температуры воздуха, хорошо прослеживается тренд на повышение, начиная с середины 70-х годов по настоящее время. На рисунке 2 в качестве примера приведены хронологические графики средней температуры воздуха за холодный период года по метеостанциям Гридино и Тихвин.



м. ст. Гридино



м.ст. Тихвин

Рисунок 2 – Средняя температура воздуха за холодный период года

Повышение температуры воздуха в зимний период привело к увеличению оттепелей и повышению минимального стока. Формальная проверка в этом случае дает опровержение гипотезы об однородности гидрологических рядов по критерию Стьюдента.

Если считать, что потепление необратимо, то для корректной обработки ряда необходимо исключить тренд, а полученный ряд положительных и отрицательных отклонений наложить на новое среднее значение. При этом можно рассматривать несколько средних значений (в зависимости от принятого климатического сценария).

Однако нельзя исключить, что повышение температуры воздуха в зимний период носит временный характер в рамках естественно-природных колебаний климата и вслед за потеплением наступит период умеренного похолодания. Тогда мы должны принять гипотезу о том, что последние 30 лет мы наблюдаем многоводную фазу водного режима и на смену ей придет маловодная фаза. В этой ситуации, для оценки параметров распределения следует использовать весь имеющийся ряд и считать его условно однородным. В последнем случае, расчетные значения минимальных расходов воды обеспеченностью 80 % и менее будут ниже, чем при удалении тренда.

В диссертационной работе был выбран последний сценарий, так как повышение минимального стока в случае наступления маловодной фазы может

привести к тому, что многие гидротехнические сооружения, обеспечивающие водоснабжение городов, других населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий могут оказаться без воды с заданным уровнем надежности обеспечения. Если же режим повышенного минимального стока сохранится на период эксплуатации гидротехнических сооружений, то это может создать дополнительный запас надежности питьевого и технического водоснабжения.

В работе проводится анализ вероятностной структуры рядов минимального стока зимней и летне-осенней межени: проверка гидрологических рядов на соответствие модели случайной величины; проверка рядов на однородность с использованием статистических критериев Стьюдента и Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Проверка показала, что гипотеза о соответствии модели случайной величины опровергалась для рядов минимальных 30-суточных расходов воды зимней межени в 43 % случаев, а гипотеза об однородности по критерию Фишера – в 46 % и критерию Стьюдента – в 54 % случаев.

Производилась оценка статистических характеристик гидрологических рядов и выбор способа аппроксимации эмпирических данных при расчете минимальных расходов воды в условиях неоднородности рядов 30-суточного зимнего стока рек СЗ ЕТР.

Расчет оценок параметров распределения производился методом моментов. В том случае, когда коэффициент вариации C_v превышал 0,6, параметры пересчитывались методом наибольшего правдоподобия.

Для неоднородных гидрологических рядов использовались усеченные кривые или сглаженные эмпирические в случае, если одна или несколько точек в области больших обеспеченностей имели резкое расхождение с аналитической кривой.

Для расчета минимальных расходов воды рек СЗ ЕТР заданной вероятности ежегодного превышения использовалась аналитическая кривая Крицкого-Менкеля при значении C_s/C_v обеспечивающим наилучшую сходимость

кривых в области больших обеспеченностей. Пример подбора C_s/C_v для р. Явосьма – д. Ушаково представлен на рисунке 3. В качестве расчетной была принята кривая Крицкого-Менкеля при значении $C_s/C_v = 4$.

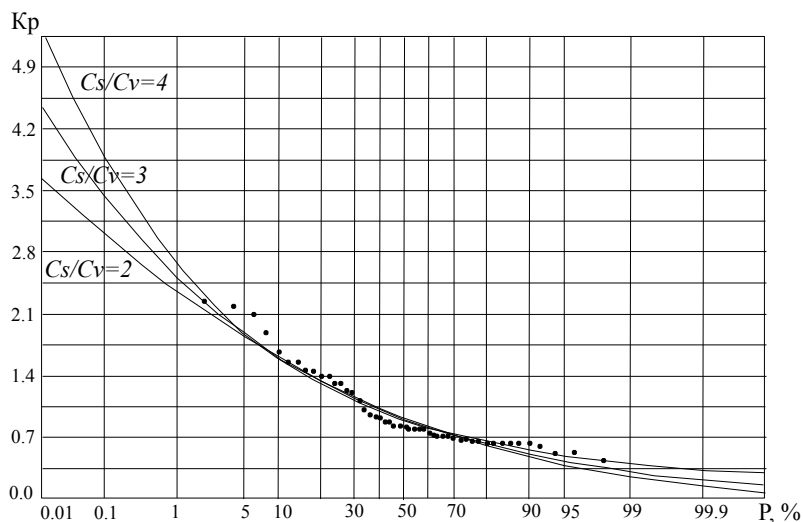


Рисунок 3 – Эмпирическая и аналитические кривые Крицкого-Менкеля для разных соотношений C_s/C_v минимальных зимних 30-суточных расходов воды р. Явосьма – д. Ушаково

Для расчета минимальных расходов воды заданной вероятности превышения в работе в 30 % случаев использовались усеченные кривые. Кривая полного и усеченного распределения для р. Тосна – г. Тосно представлена на рисунке 4.

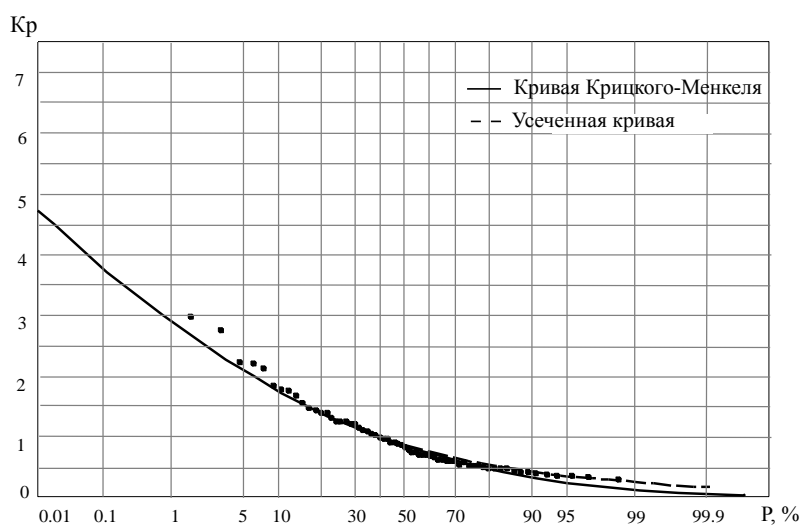


Рисунок 4 – Кривые полного и усеченного распределений минимальных зимних 30-суточных расходов воды р. Тосна – г. Тосно

Если эмпирические кривые имели форму, при которой одна или несколько точек резко отклоняются в зоне больших обеспеченностей, что свидетельствует об истощении грунтового питания на отдельных реках в те годы, которым соответствуют отклоняющиеся точки, использовалась сглаженная кривая. На рисунке 5 представлена сглаженная эмпирическая кривая минимальных зимних 30-суточных расходов воды р. Плюсса – д. Брод.

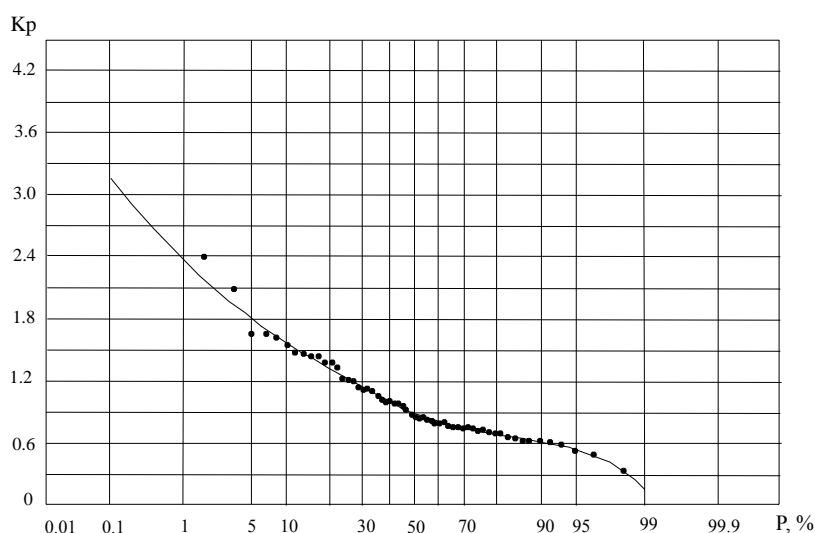


Рисунок 5 – Сглаженная эмпирическая кривая минимальных зимних 30-суточных расходов воды р. Плюсса – д. Брод

ГЛАВА 3 посвящена районированию территории Северо-Западного региона РФ по условиям формирования минимального стока.

Приводятся сведения о широко применяемых методах гидрологического районирования и отмечаются сложности в проведении границ между районами, которые при использовании названных методов решаются исполнителем с некоторым субъективизмом.

Оценен метод гидрологического районирования основанный на сходстве очертаний выборочных спектров рядов гидрологических характеристик. Спектры оценивались для всех постов за один и тот же интервал времени. Были отобраны посты с наиболее длительными рядами наблюдений. Для периода зимней межени интервал времени составил 56 лет; для летне-осенней межени – 49 лет.

При анализе формы спектра учитывались значимые пики на периодах, составляющих не более 1/3 от длины рядов.

Метод предполагает наличие достаточного количества постов с продолжительными рядами наблюдений, поэтому не применялся для территории Карелии, районирование которой производилось по типу эмпирических зависимостей между расходом воды 80 %-ой обеспеченности и площадью водосбора. Для всей территории при районировании с использованием спектрального и кластерного анализа в качестве контрольных методов использовались методы выделения гидрологически однородных районов на основе синхронности колебания стока и по типу эмпирических зависимостей между минимальными расходами воды $Q_{80\%}$ и площадью водосбора F , что позволило оценить физическую однородность условий формирования минимального стока.

Использование кластерного анализа для гидрологического районирования позволяет в достаточной степени формализовать процедуру выделения однородных районов по условиям формирования стока. В качестве метода для объединения объектов в кластеры использовался метод k -средних.

При разбиении совокупности данных на кластеры в качестве признаков использовались координаты постов (долгота и широта в частях градусов) и значения спектральной плотности на определенной частоте (периоде).

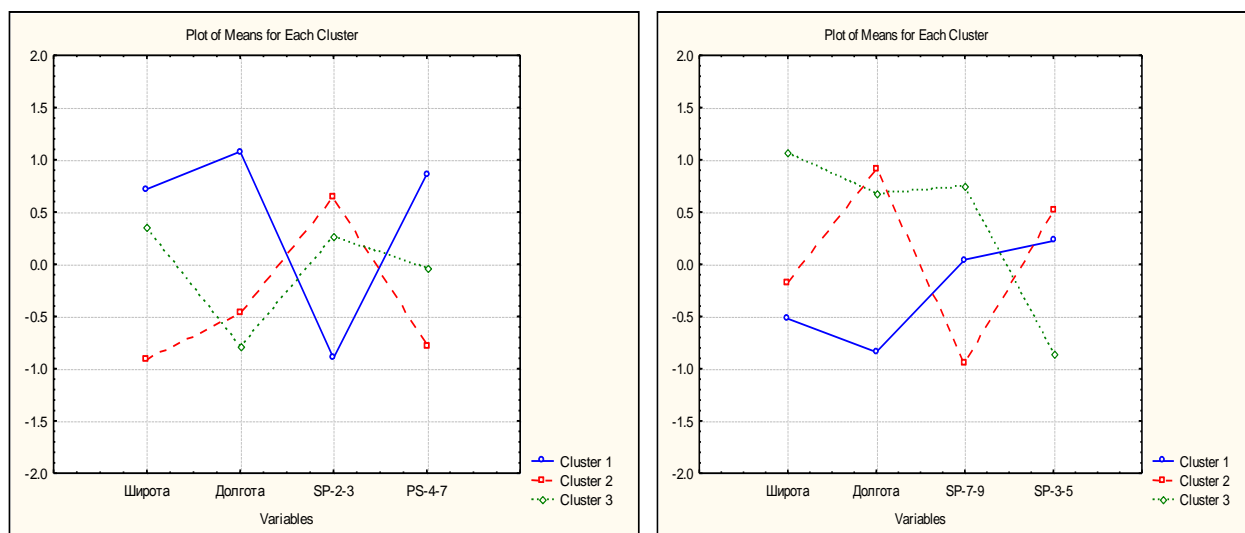
Для периода летне-осенней межени при классификации в качестве признаков использовались значения спектральной плотности на периодах 2-3 года и 4-7 лет; для зимней межени – на периодах 3-5 лет и 7-9 лет.

Для проведения кластерного анализа все исходные данные были нормализованы по формуле:

$$X_{i \text{ норм.}} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X} \quad (2)$$

Нормированные ряды признаков имеют нулевое среднее значение и единичную дисперсию.

Наилучший результат пространственного объединения объектов получен, как видно из рисунка 6, при трех кластерах и четырех признаках.



а)

б)

Рисунок 6 – Результаты кластеризации минимального летне-осеннего (а) и зимнего (б) стока для Северо-Запада ЕТР при 3-х кластерах и 4-х признаках

На рисунке 7 представлены карты, на которых выделены однородные по условиям формирования минимального стока районы СЗ ЕТР в период зимней и летне-осенней межени. Для летне-осенней межени выделено 6 районов; для зимней – 5.

Метод кластерного анализа предполагает наличие достаточного количества постов с продолжительными рядами наблюдений, поэтому не применялся для территории Карелии, районирование которой производилось по типу эмпирических зависимостей между расходом воды 80 %-ой обеспеченности и площадью водосбора. При этом методы выделения гидрологически однородных районов на основе синхронности колебания стока и по типу эмпирических зависимостей между минимальными расходами воды $Q_{80\%}$ и площадью водосбора F применялись в качестве контрольных для всей исследуемой территории.

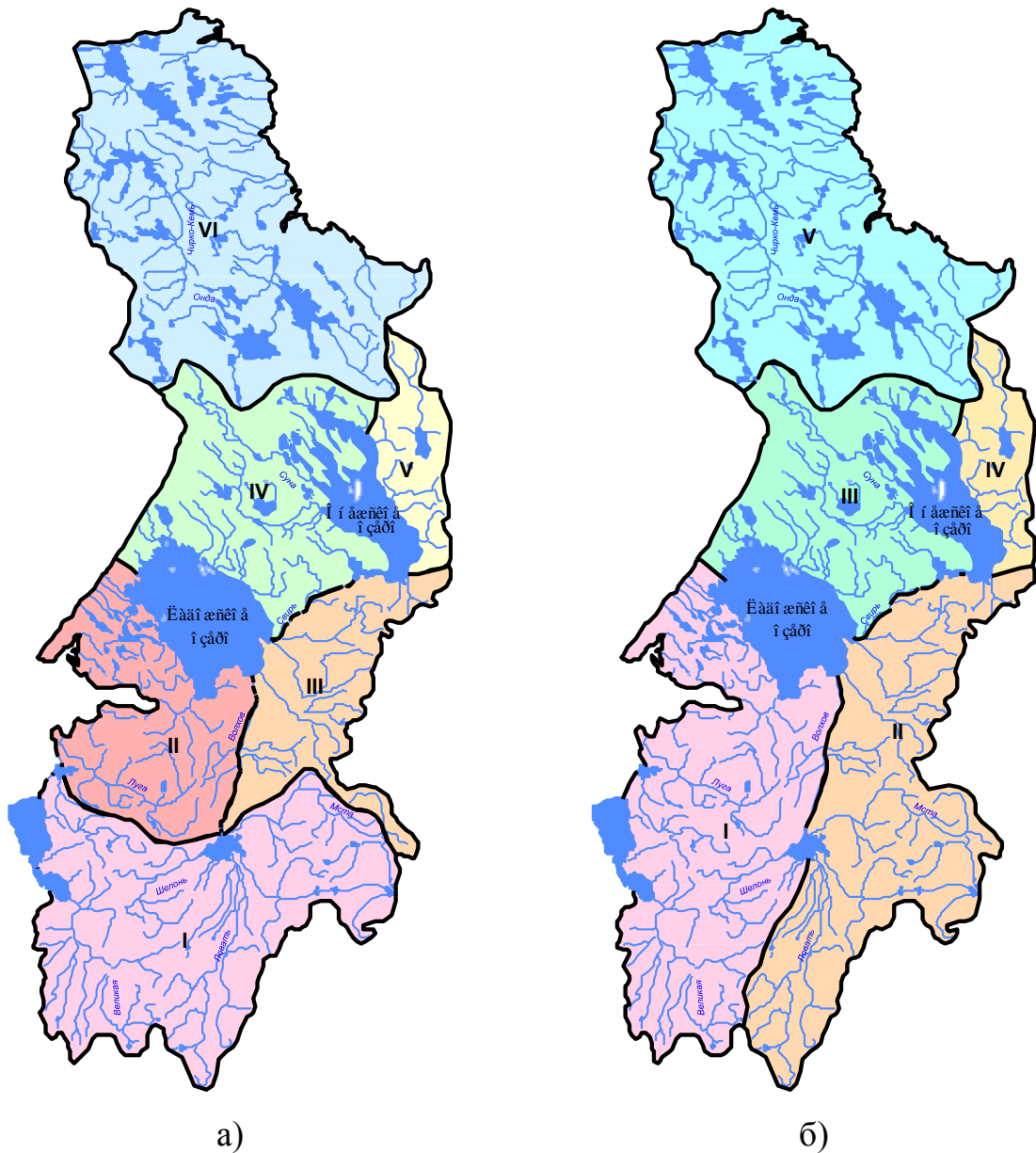


Рисунок 7 – Однородные районы по условиям формирования минимального стока рек СЗ ЕТР в период летне-осенней (а) и зимней межени(б)

В **ГЛАВЕ 4** даны рекомендации по расчету минимального стока средних и малых рек СЗ ЕТР при отсутствии наблюдений.

Для оценки минимального стока средних рек построены карты изолиний 30-суточных модулей минимального стока 80 %-ой обеспеченности для зимней и летне-осенней межени с использованием данных последних лет наблюдений, представленные на рисунке 8.

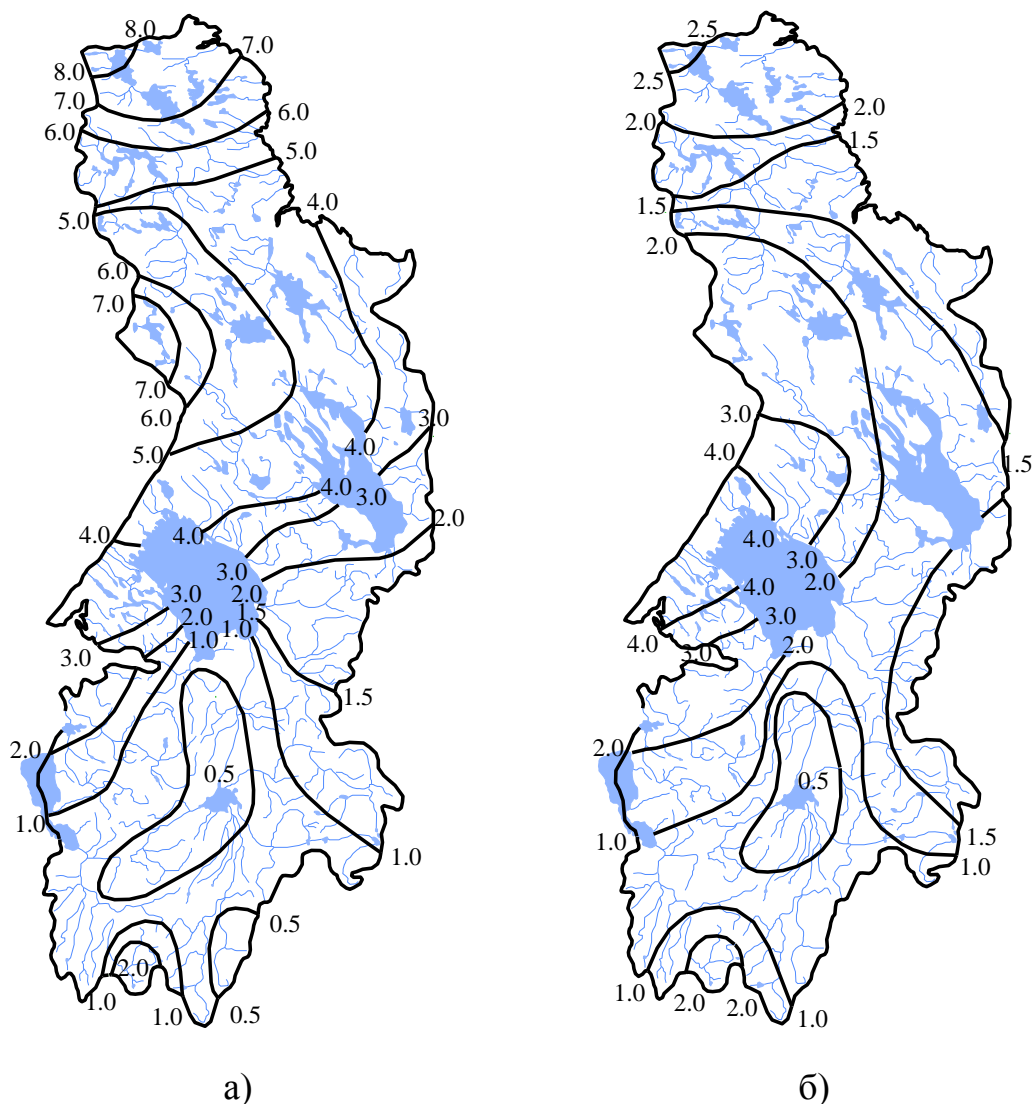


Рисунок 8 – Карты изолиний минимального 30-суточного стока 80 %-ой обеспеченности рек Северо-западного региона РФ в период летне-осенней (а) и зимней (б) межени

Переходные коэффициенты k от 30-суточных модулей минимального стока 80 %-ой обеспеченности к 1-суточным значениям 80 %-ой обеспеченности, полученные отдельно для зимней и летне-осенней межени для каждого, из выделенных однородных районов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Переходные коэффициенты k для средних и малых рек

	I район	II район	III район	IV район	V район	VI район
Лето	0,78	0,84	0,85	0,84	0,73	0,82
Зима	0,89	0,91	0,88	0,84	0,85	

В таблице 3 представлены переходные коэффициенты λ от расходов воды 80 %-ой обеспеченности к расходам других обеспеченностей.

Таблица 3 – Переходные коэффициенты λ для средних и малых рек

	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	97 %	99 %
I район							
Лето	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,63	0,51
Зима	1,11	1,00	0,88	0,75	0,59	0,49	0,36
II район							
Лето	1,07	1,00	0,90	0,83	0,72	0,66	0,56
Зима	1,07	1,00	0,92	0,83	0,72	0,65	0,53
III район							
Лето	1,09	1,00	0,93	0,80	0,66	0,58	0,46
Зима	1,07	1,00	0,91	0,83	0,71	0,63	0,51
IV район							
Лето	1,10	1,00	0,86	0,75	0,58	0,49	0,35
Зима	1,06	1,00	0,85	0,79	0,59	0,49	0,36
V район							
Лето	1,08	1,00	0,86	0,78	0,70	0,61	0,54
Зима	1,04	1,00	0,95	0,89	0,80	0,71	0,66
VI район							
Лето	1,07	1,00	0,93	0,79	0,75	0,65	0,54

В диссертации даны рекомендации по расчету минимального стока малых рек при отсутствии наблюдений. Для расчета минимального 30-суточного стока использовались многофакторные зависимости. Для каждого однородного района исследованы связи минимальных расходов воды $Q_{80\%}$ с площадью водосбора F и глубиной эрозионного вреза русла ΔH и определены параметры расчетных формул.

Показатель глубины эрозионного вреза рек СЗ ЕТР рассчитывался по формуле:

$$\Delta H = H_{\text{вдсб.}} - H_{\text{ств.}} \quad (3)$$

- где ΔH - показатель глубины эрозионного вреза русла
 $H_{\text{вдсб.}}$ - средняя высота водосбора, м
 $H_{\text{ств.}}$ - отметка среднего наименьшего за период межени уровня воды, м

Значимость глубины эрозионного вреза выявлена при расчете минимального летне-осеннего стока для трех однородных районов, занимающих южную часть исследуемой территории.

В таблице 4 приведены расчетные формулы для определения минимального расхода воды опорной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений для каждого однородного района в период зимней и летне-осенней межени.

Таблица 4 – Расчетные формулы

№ района	Расчетная формула	№ района	Расчетная формула
	Летне-осенняя межень		Зимняя межень
I	$Q_{80\%} = 0,81 Fn \Delta Hn^{2,18}$	I	$Q_{80\%} = 0,03 F^{1,12} 10^{-3}$
II	$Q_{80\%} = 3,42 Fn^{0,99} \Delta Hn^{1,47}$	II	$Q_{80\%} = 0,04 F^{1,36} 10^{-3}$
III	$Q_{80\%} = 2,75 Fn^{1,02} \Delta Hn^{2,18}$	III	$Q_{80\%} = 0,20 F^{1,21} 10^{-3}$
IV	$Q_{80\%} = 0,05 F^{1,62} 10^{-3}$	IV	$Q_{80\%} = 4,12 F^{1,32} 10^{-3}$
V	$Q_{80\%} = 4,00 F 10^{-3}$	V	$Q_{80\%} = 3,10 F^{1,10} 10^{-3}$
VI	$Q_{80\%} = F^{1,69}$		

Примечание: $Fn = F/1000$ $\Delta Hn = \Delta H/100$

Влияние озерности водосбора на минимальный сток исследовано в диссертации на примере рек сосредоточенных, главным образом, на территории Карелии и Карельского перешейка, относительная озерность большинства из которых составляет 5-23 %.

Формула А.М. Владимирова для расчета минимального стока малых рек, приведенная в СП 33-101-2003

$$Q_{80\%} = b(A \pm A_1)^m \delta_1 \delta_2 \lambda, \quad (4)$$

где A – площадь водосбора, км²; A_1 , b , m – региональные константы, использована в диссертации, как одна из основных расчетных формул, официального нормативного документа Госстроя РФ.

Учет озерности осуществляется за счет введения повышающего коэффициента δ_1 при $A_1 = 0$:

$$Q_{80\%} = bA^m \delta_1 \quad (5)$$

где δ_1 в общем случае определяется выражением

$$\delta_1 = (1 + cA_{o3})^n \quad (6)$$

В этом случае формула для расчета минимального расхода воды: 80 %-ой обеспеченности имеет вид:

$$Q_{80\%} = b_1 A^m (1 + cA_{o3})^n \quad (7)$$

Принимая в (7) один или несколько коэффициентов равными единице, можно получить более простые формулы. В частности, при $c = 1$ получаем:

$$Q_{80\%} = b_1 A^m (1 + A_{o3})^n \quad (8)$$

а при $n = 1$ и $m = 1$ получаем:

$$Q_{80\%} = b_1 A (1 + cA_{o3}) \quad (9)$$

Следует отметить, что переход от классической формулы (4) к формулам (7-9) невозможно осуществить только за счет введения поправки δ_1 без корректировки всех параметров формулы.

В диссертации детально рассмотрен алгоритм оптимизации параметров формул (8-9).

Исследования влияния озерности водосбора на минимальный сток летне-осенней межени для рек Карелии и Карельского перешейка показали, что наилучший результат дает расчет по формуле (8).

В ЗАКЛЮЧЕНИИ сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы:

- анализ минимального стока зимней и летне-осенней межени выявил наличие значимых положительных трендов в рядах расходов воды зимнего периода и их связи с положительными трендами в рядах температуры возду-

ха холодного периода года, что позволяет сделать вывод о том, что увеличение зимнего стока за период 1975-2011 гг. можно объяснить климатическими причинами;

- для аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей в условиях неоднородных выборок в области больших обеспеченностей доказана целесообразность применения усеченного распределения и сглаженных эмпирических кривых;

- выполнено районирование территории по условиям формирования минимального стока и доказана целесообразность использования методов корреляционного, спектрального и кластерного анализов для выделения однородные районов;

- для каждого гидрологически однородного района разработана расчетная формула с обоснованием набора предикторов для определения расхода воды рек с площадями водосборов от 100 до 2000 км² при отсутствии данных наблюдений, включая новую формулу расчета минимального стока озерных рек;

- построены новые карты модулей минимального стока 80 %-ой обеспеченности летне-осенней и зимней межени для средних рек и рассчитаны переходные коэффициенты от значений 30-суточного расхода воды к суточному и от расхода воды 80 %-ой обеспеченности, к расходам 75-97 %-ых обеспеченностей для каждого из однородных районов.

Полученные результаты могут быть использованы при подготовке Территориальных строительных норм (ТСН) и документов Государственного Водного кадастра.

Список публикаций по теме диссертации:

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК

1 Способы аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей в условиях неоднородных выборок. Ученые записки РГГМУ. № 21. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2011. – С.25-31.

2 Оценка вероятности появления гидрологической засухи. Ученые записки РГГМУ. № 24. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2012. – С. 5-17. (Соавтор Владимир А.М.)

Методические указания

3 Методические указания по дисциплине «Методы статистической обработки гидрометеорологической информации». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 38 с. (Соавтор Сикан А.В.)

Статьи, опубликованные в периодических изданиях

4 Расчет минимального стока рек Брянской области. Проблемы современной гидрологии. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. – С. 169-172 (Соавтор Сикан А.В.)

5 Оценка вероятностной структуры рядов минимальных расходов воды рек Северо-Западного федерального округа РФ. Итоговая сессия Ученого совета РГГМУ. Тезисы докладов. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2006. – С. 5-7.

6 Исследование показателей инерционности речных систем. Ученые записки РГГМУ. № 7. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – С. 23-28 (Соавтор Сикан А.В.)

7 Оценка влияния озерности водосборов на минимальный сток малых рек. Ученые записки РГГМУ. № 9. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – С.11-22 (Соавторы Сакович В.М., Сикан А.В.)

Материалы конференций

8 Малышева Н.Г. Расчет минимального стока рек СЗ РФ в условиях неоднородных выборок. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Мониторинг окружающей среды», Брест: Изд. БГУ им. А.С. Пушкина, 2010. – С.72-74.

Соискатель

Малышева Н.Г.